

防雷基础理论

北京闪盾伟业科技
有限公司

宋新年

内部资料 版权所有

第一部分

雷电的成因

云的起电理论

关于云的起电理论很多，但目前还没有一种理论能够圆满地解释上述的所有问题，因为大气的运动在实验室里是模拟不出来的。下面介绍几种大家比较认同的理论。

1、温差起电理论：一般情况下，如果一块物体冷热不均，则热端带负电，冷端带正电。云中的冰晶、水滴、冰雹等，因接触、碰并、破碎、摩擦等作用，使得云冰晶带正电，水滴、冰雹等带负电。冰晶的密度小于水滴，小而轻，漂浮在云的上部，因此云的上部通常带正电。

2、感应起电理论：在晴天电场的作用下，云滴被极化，使它们下半部带正电，上半部带负电，通过云内的运动，产生上正下负两个主要的电荷中心，两个中心建立后，方向向下的电场得以加强，便会产生一个正反馈机制。

3、切割磁力线理论：北半球的云在大陆架上一般自西向东移动，而地球的磁力线则是由南极指向北极根据右手定则判断，正电荷向上移动，负电荷向下运动。

4、破碎起电理论：水滴在气流的剧烈运动中分裂成带负电的较大颗粒和带正电的较小颗粒，后者被上升气流带到高空。云底带少量的正电：地面的感应或地面的尖端物体带的正电荷被强烈的上升气流带入云底。

威尔逊假说 (Wilson) 电容学说

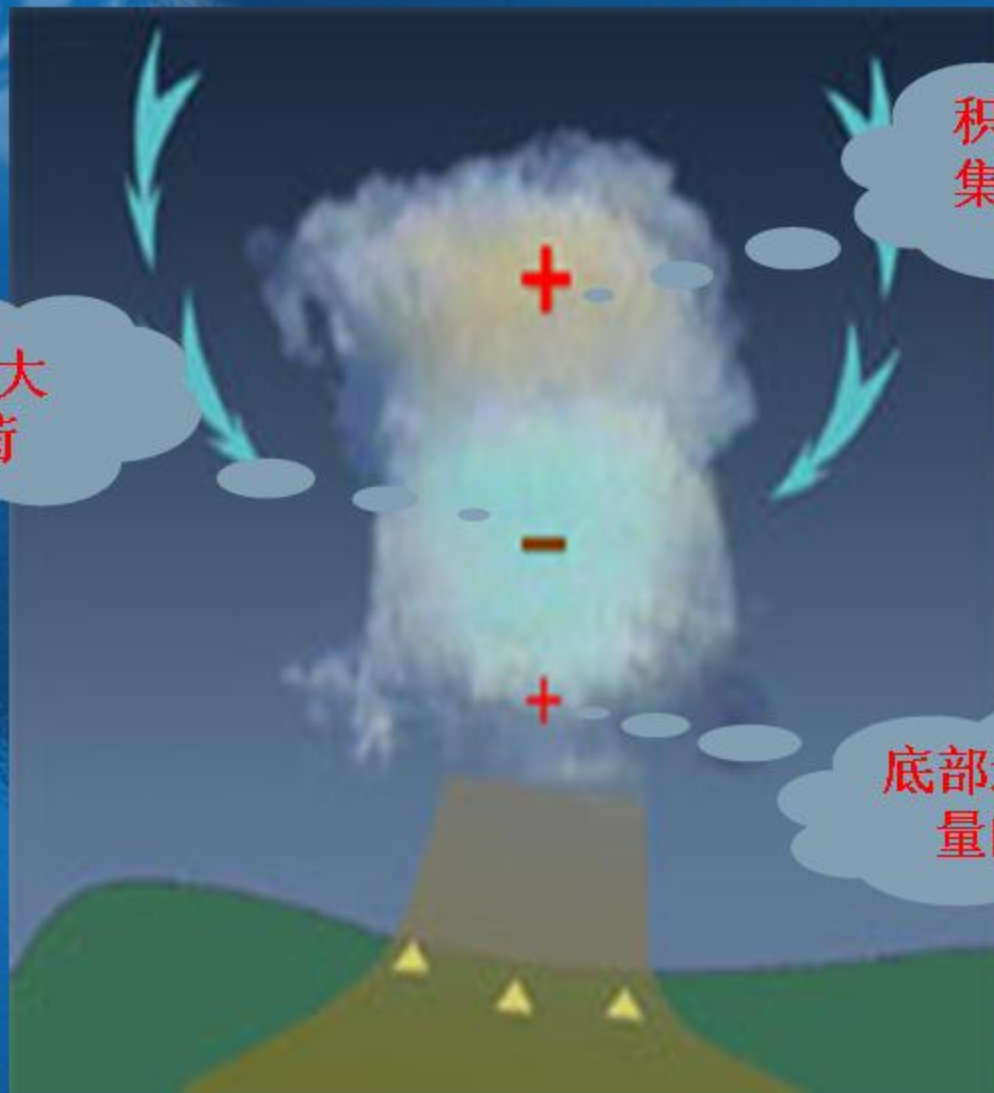
至今尚未有一种被公认为无懈可击的完整学说，威尔逊假说被认为比较完善并经常被推荐的假说。地球本身是一个电容器，通常带了50万库仑左右稳定的负电荷，而地球上空存在一个带正电的电离层，这两者之间便形成一个已充电的电容器，它们之间的电压为300KV左右，并且场强为上正下负。

地面的水蒸气因地面烘烤上升产生向上的气流，其上升时温度逐渐下降形成雨滴、冰雹（称为水成物），水成物在地球静电场的作用下被极化，负电荷在上，正电荷在下，它们在重力作用下落下的速度比云滴和冰晶（这二者称为云粒子）要大，因此极化水成物在下落过程中要与云粒子发生碰撞，碰撞的结果是其中一部分云粒子被水成物所捕获，增大了水成物的体积，另一部分未被捕获的被反弹回去，而反弹回去的云粒子带走水成物前端的部分正电荷，使水成物带上负电荷。

水成物下降的速度快，而云粒子下降的速度慢，因此带正、负两种电荷的微粒逐渐分离（这叫重力分离作用），如果遇到上升气流，云粒子不断上升，分离的作用更加明显。最后形成带正电的云粒子在云的上部，而带负电的水成物在云的下部。

带电云层一经形成，就形成雷云空间电场，它的电场的方向和地面与电离层之间的电场方向是一致的，因而加强了大气的电场强度，使大气中水成物的极化更厉害，在上升气流存在在情况下更加剧重力分离作用，从而发展成雷云。

雷雨云中的电荷分布



积雨云的上部
集中了大量的
正电荷

中部聚集了大
量的负电荷

底部还分布了少
量的正电荷

闪电的空间位置分类



云空闪



云际闪



云内闪



云地闪

雷电过程与尖端放电

云地闪中90%为雷云带负电，称为负极性雷击（负闪电），雷云带正电的为正极性雷击（正闪电）。每次闪电都是由**先导**、**回击**和**后续闪击**三个过程组成。

雷雨云带有大量的电荷，由于静电感应作用，下方的地面和地面上的物体都带上了与雷雨云相反的电荷。

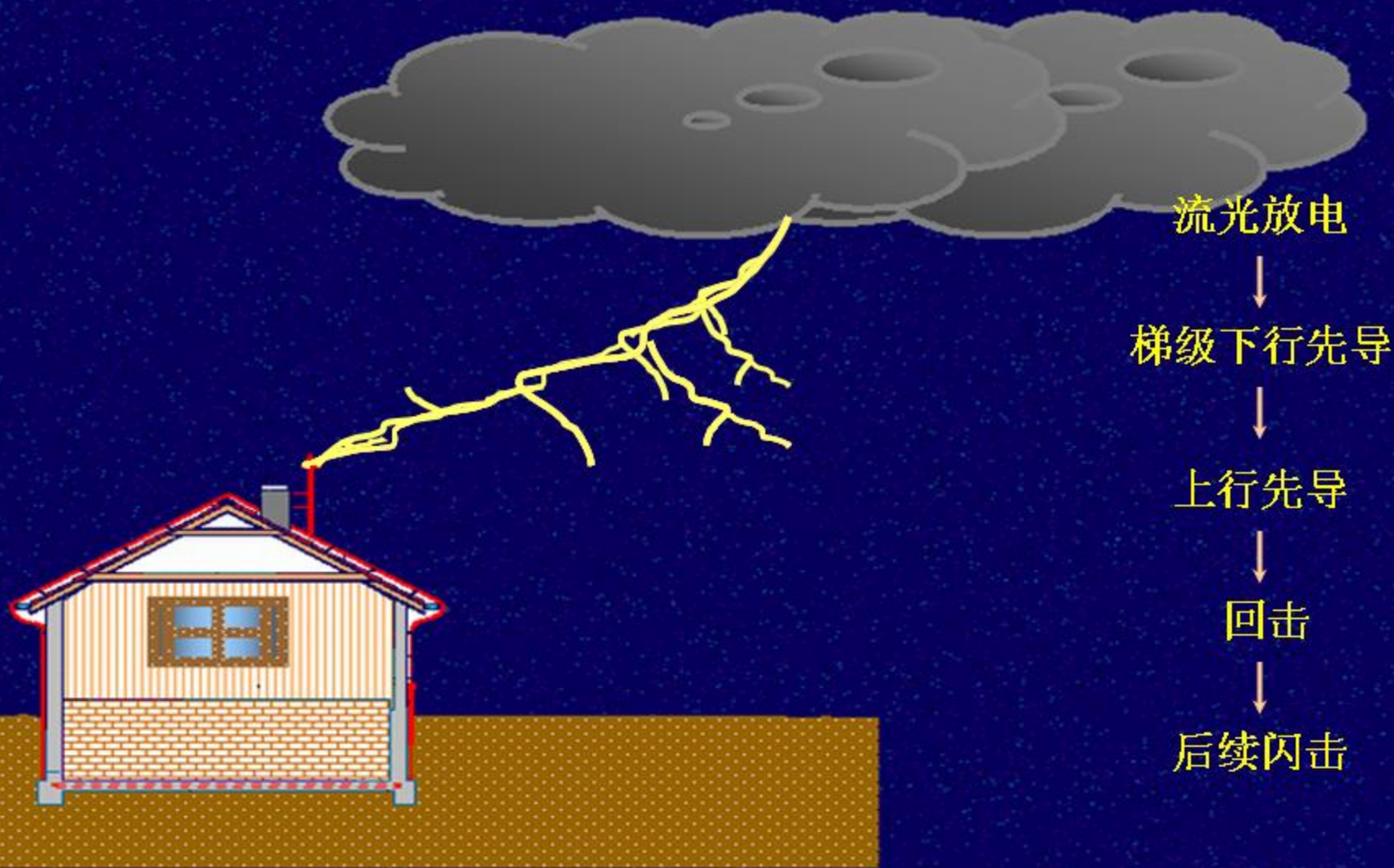
当云中的电场达到 10^4V/cm 时，空气开始击穿，产生电离，形成向下的流光，表现为一条暗淡的光柱象梯级一样逐级伸向地面，称之为**梯级下行先导**。

梯级下行先导达到地面附近，形成很强的电场，使地面产生向上的流光，成为**上行先导**。

从地面的上行先导与下行先导会合，形成一条明亮的光柱，沿下行先导所形成的电离通道，由地面高速冲向云中，称为**回击**。

第一次闪击后的各次闪击称为**后续闪击**。负闪电一般包含多次放电。

雷电过程与尖端放电



第二部分

雷电入侵的途径

雷击是电涌电压的一种

电涌电压	雷击	直击雷
		感应雷
	线路电涌	线路故障浪涌
		系统开关过电压
	电磁感应	雷电电磁干扰 / 无线电干扰
	静电感应	雷电静电/摩擦静电等

电涌侵害设备的渠道

- ◆ 雷击侵害设备的渠道

- ✦ 雷击建筑物 [直击雷]

- ✦ 雷击架空导线 [直击雷]

- ✦ 雷电电磁感应 [感应雷]

- ✦ 地电位反击

- ✦ 操作过电压

- ✦ 雷击的侵害渠道概括了其他浪涌的侵害渠道

雷击建筑物



雷击架空电力线



电磁感应与耦合



操作过电压



雷电的选择性

A、易遭雷击的地点：

- 1、土壤电阻率较小的地方，如有金属矿床的地区、河岸、地下水出口处、湖沼、低洼地区和地下水位高的地方；
- 2、山坡与稻田接壤处；
- 3、具有不同电阻率土壤的交界地段。

B、易遭受雷击的建（构）筑物：

- 1、高耸突出的建筑物，如水塔、电视塔、高楼等；
- 2、排出导电尘埃、废气热气柱的厂房、管道等；
- 3、内部有大量金属设备的厂房；
- 4、地下水位高或有金属矿床等地区的建（构）筑物；
- 5、孤立、突出在旷野的建（构）筑物。

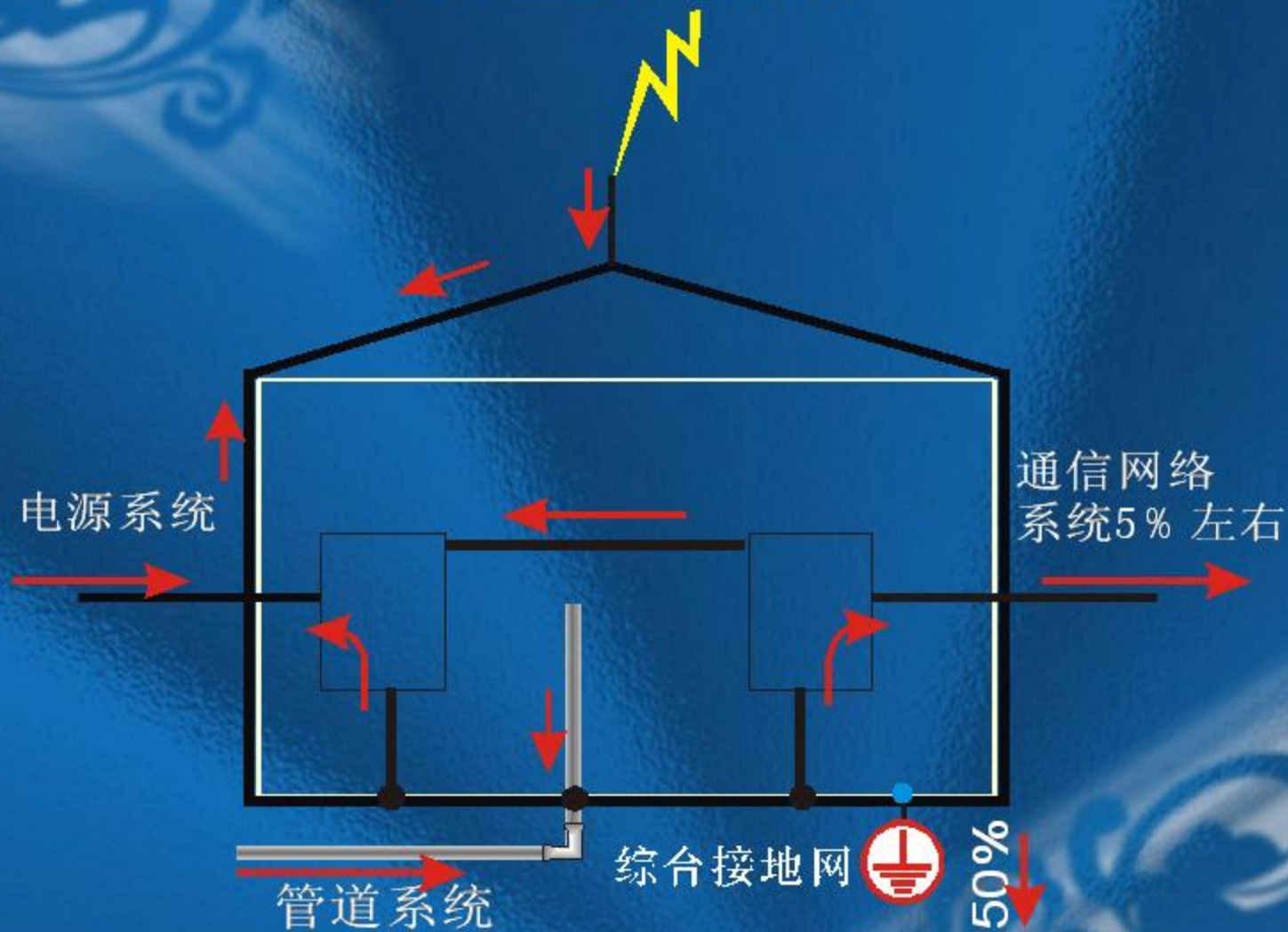
C、同一建（构）筑物易遭受雷击的部位：

- 1、平屋面和坡度 $\leq 1/10$ 的屋面，檐角、女儿墙和屋檐；
- 2、坡屋度 $> 1/10$ 且 $< 1/2$ 的屋面；屋角、屋脊、檐角和屋檐；
- 3、坡度 $> 1/2$ 的屋面、屋角、屋脊和檐角；
- 4、建（构）筑物屋面突出部位，如烟囱、管道、广告牌等。

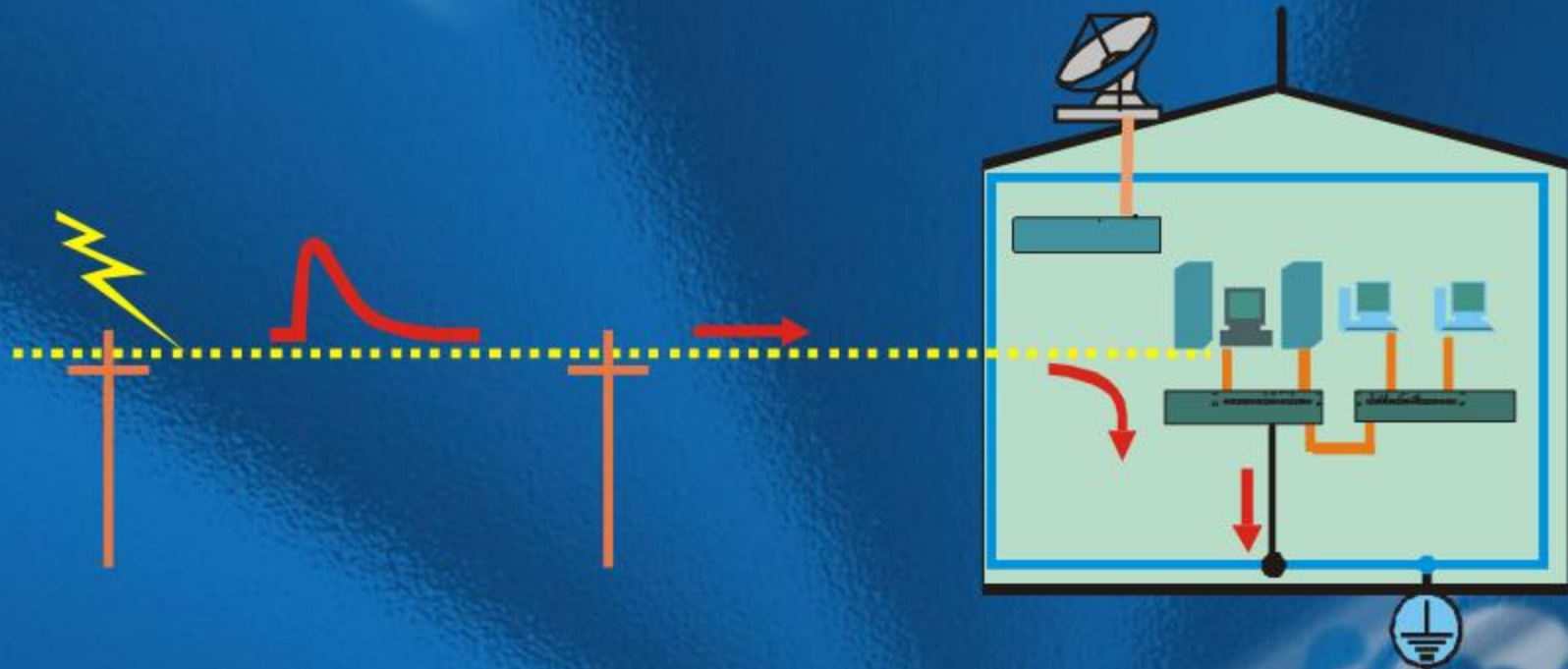
直击雷

- ◆ **直击雷**：所谓直击雷，是指雷电直接击在建筑物、构架、树木、植物上，因电效应、热效应和机械力效应等造成建筑物等损坏以及人员伤亡。
- ◆ 一般防直击雷是通过外部避雷装置即：接闪器（避雷针、避雷带、避雷网、避雷线）、引下线、接地装置构成完整的电气通路，将雷电流泄入大地。
- ◆ 接闪器、引下线和接地装置的导通只能保护建筑物本身免受直击雷的损毁，但雷电仍然会透过多种形式及途径破坏电子设备。（电磁感应\地电位反击）

雷击建筑物[直击雷]



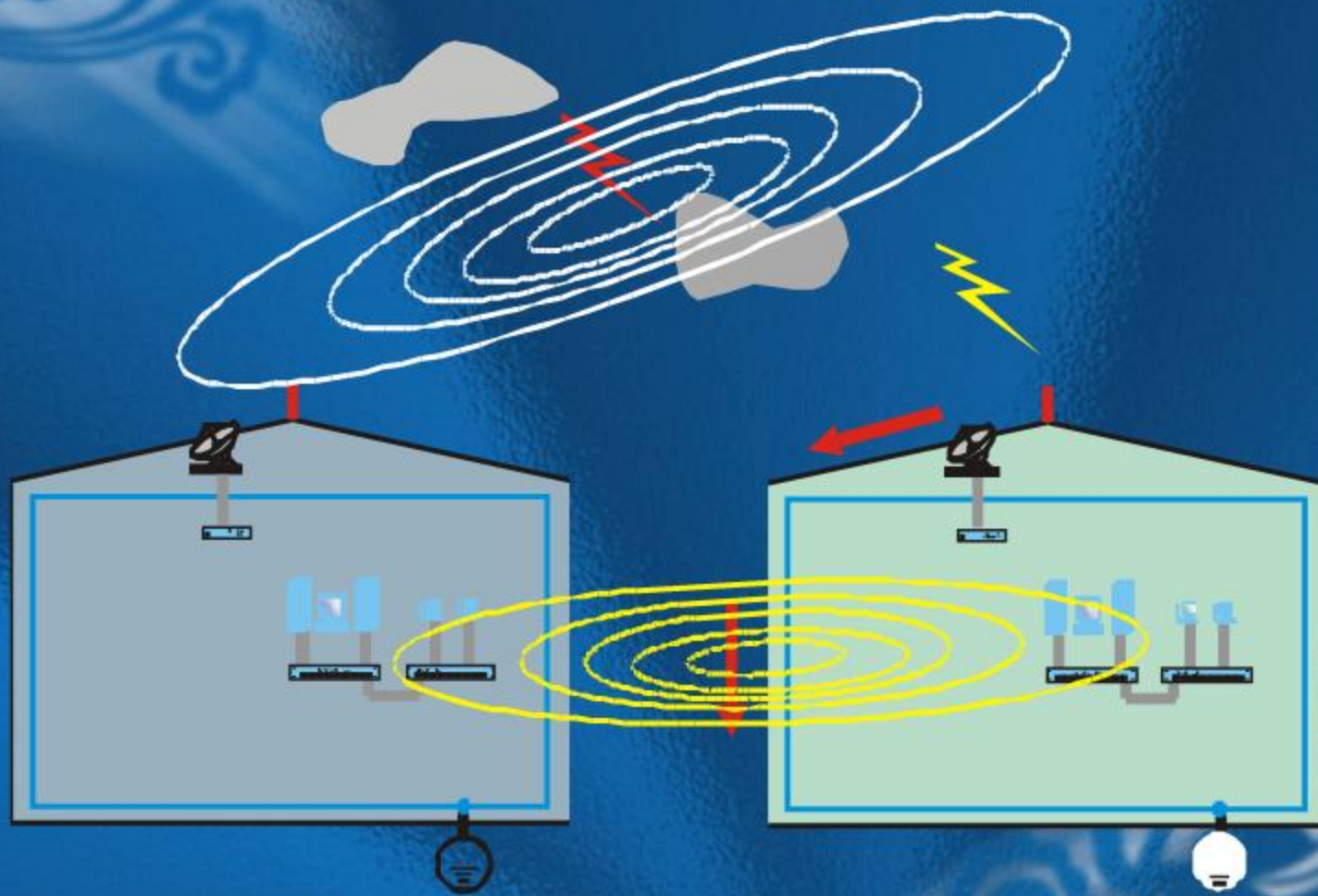
雷击架空导线[直击雷]



静电感应与电磁感应

- **静电感应：**由于雷云电场的作用，会使附近的导体上感应出与雷云符号相反的电荷，当雷云放电时，先导通道中的电荷迅速中和。其它导体上的感应电荷由于失去了电场的约束得到释放，如没有被中和或不就近泄入地中就会产生很高的电位，损坏设备。
- **电磁感应：**由于雷电流的迅速变化，在它的周围有强大的瞬变的电磁场，处在这个电磁场中的导体就会感应出较大的电动势。如果在附近存在闭合的电路，电路上的感生电动势会使开口处放电，产生火花，损坏设备。

雷电电磁感应[感应雷]

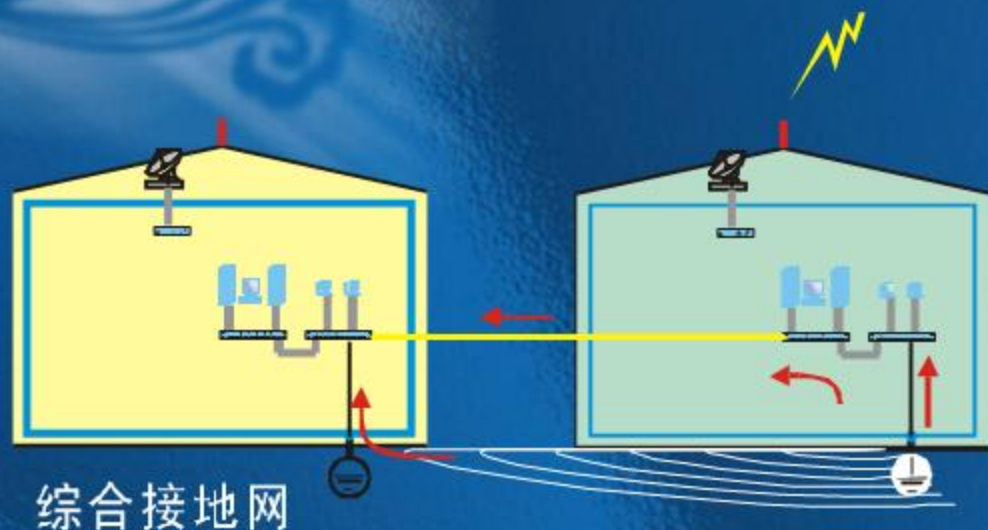


解决方法:进出建筑物的金属导体接地\
相应的电源线\信号线安装SPD

感应雷

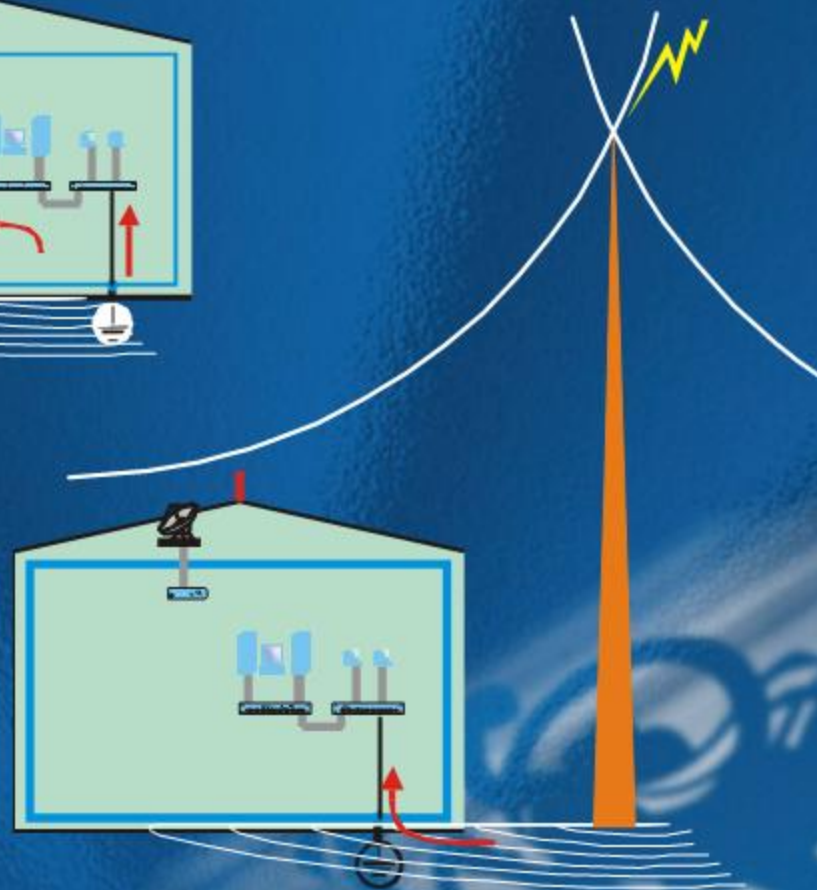
- ◆ **感应雷：**所谓感应雷，是指雷云放电时，在附近导体上产生的静电感应和电磁感应等现象称之为感应雷击。
- ◆ 雷电在雷云之间或雷云对地的放电时，会在附近的电源线路、信号线路、埋地管道、设备间连接线和铁路钢轨等等导体上产生静电和电磁感应过电压，使串联在线路中间或终端的电子设备遭到损害。
- ◆ 感应雷虽然没有直击雷猛烈，但其发生的几率比直击雷高得多。直击雷只在雷云对地闪击时才会对地面造成灾害，而感应雷则不论雷云对地闪击或者雷云对雷云之间闪击，都可能发生并造成灾害。一次雷击产生的感应雷过电压，会通过电力线、电话线等传输到很远，致使雷害范围扩大。

地电位反击



解决方法:

当两地网间距离小于20米时,规范要求应该做成共用接地系统



独立接地与共用接地

- ◆ **独立接地：**需要接地的系统分别独立地建立自己的接地系统，这种接地方式称为独立接地。它的好处是各系统之间不会造成互相干扰，这对通信系统尤其重要。但网络容易被雷击坏，故除有防爆炸要求的危险环境必须要采用独立的避雷方式外，一般不主张采用独立接地的方式。这种独立接地在六、七十年代以前采用比较多，现在多被共用接地所取代。
- ◆ **共用接地：**也叫统一接地。它是把需要接地的各个系统统一接到一个接地装置上，或者把各系统原来的接地装置通过地下或者地上用金属导体连接起来，使它们之间成为畅通的电气接地统一地网，这样的接地方式为共用接地。共用接地是目前应用最广泛的接地方式。

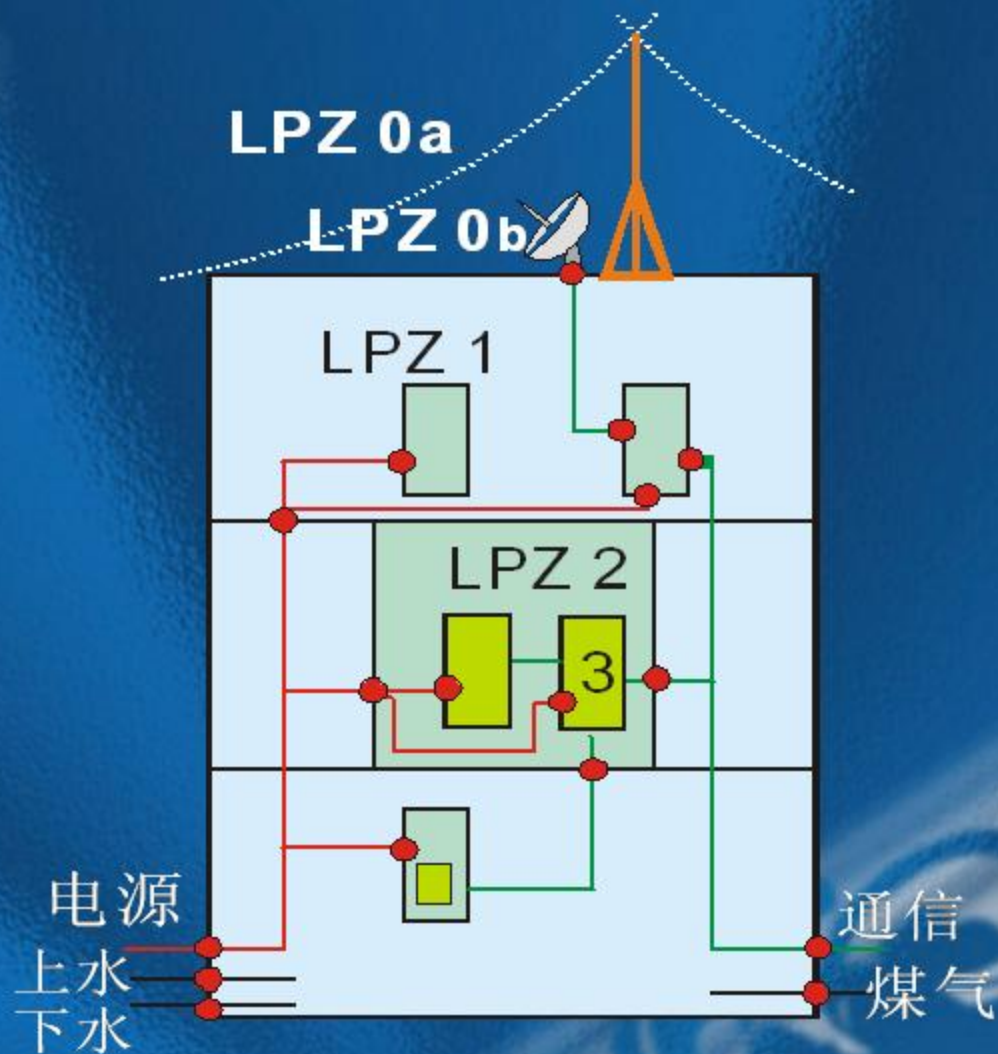
接地类型

- ◆ **一点接地：**把各系统的接地线接到接地母线同一点或同一金属平面上，这样的方法叫‘一点接地’法。一点接地法能解决各系统接地线的等电位问题，所以能够降低各系统之间的干扰程度，尤其是50Hz工频信号对系统的干扰基本上得以消除，所以一点接地法在工程上得到广泛应用。(S型)
- ◆ **多点接地：**各系统的接地线采用多点短连线的接地方式，称作多点接地。当信号或电磁干扰的频率相当高或采用快速逻辑传输时，电容耦合效应将会产生某种干扰耦合，这时引线长度成为主要矛盾，必须采用多点接地使串联阻抗减至最小，并将驻波减至最小。多点接地方式应用于高频电路（ $f > 10\text{MHz}$ ）。(M型)
- ◆ **混合接地：**所谓混合接地是在一部设备内的各电路板以最短的导线与机壳连接，或者信号电路相关的几部设备，以最短的导线与同一个金属体连接接地，然后多台设备分别用金属线接到地网的同一点上。像这样的接地方式称为混合接地。(S M混合型)
- ◆ **混合接地在工程上最简单的办法，**是在交流电源送进房屋的总开关处，把零线重复接地（或把零线接到房屋的结构主钢筋上），然后在电源的零线处引出一条PE线连接所有应该接地的点。

第三部分

雷电电磁脉冲的防护

防雷分区

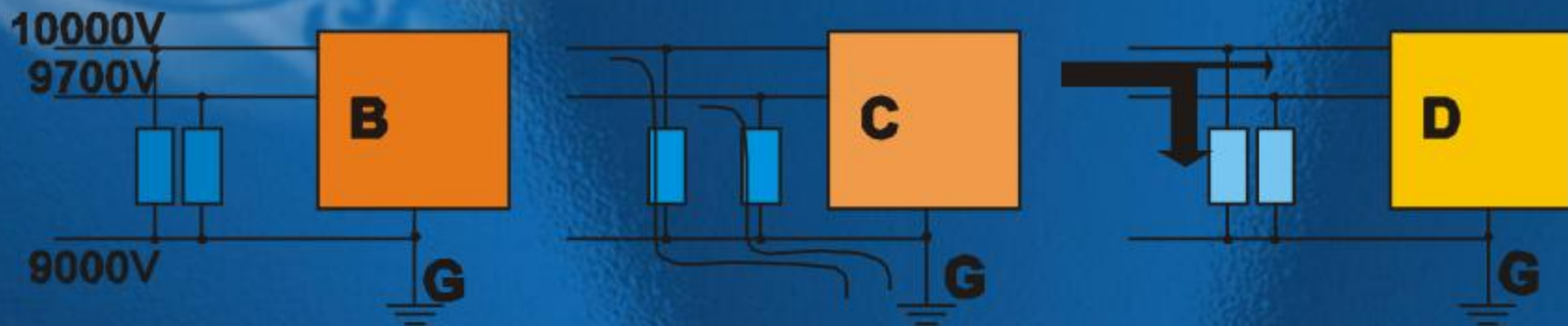


- ◆ **LPZ1区**：本区内的各物体不可能遭到直接雷击，流经各类导体的电流比LPZ 0B区进一步减小；且由于建筑物的屏蔽措施，本区内的电磁场强度也已得到了初步的衰减。
- ◆ **LPZ1区** ——雷电不易直接击中，但LEMP因屏蔽而衰减的空间。如上述屏蔽大楼内部（不包含窗口附近）。
- ◆ **LPZ 2区**：为进一步减小所导引的电流或电磁场而增设的后续防护区。
- ◆ **LPZ2区** ——在LPZ1区内，再次屏蔽的空间。如上述屏蔽大楼的另外设立的屏蔽网络中心。
- ◆ **LPZ 3区**：需要进一步减小雷击电磁脉冲，以保护敏感设备的后续防护区。
- ◆ **LPZ3区** ——在LPZ2区内，再次屏蔽的空间。如上述屏蔽网络中心内的机器金属外壳内部，或接地的机柜内部。

电涌保护器 (SPD)

- ◆ Surge Protection Device
- ◆ 电涌保护器：目的在于限制瞬态过电压和分走电涌电流的器件。它至少含有一非线性元件。
- ◆ 开关型 SPD
- ◆ 安装在通信局（站）建筑物外（按照 IEC 1312-3 的要求，一般用在 LPZ0B ~ LPZ1 区）用于电源系统的 SPD，可最大限度地消除电网后续电流，疏导 $10 / 350 \mu s$ 的模拟雷电冲击电流。
- ◆ 限压型 SPD
- ◆ 安装在防雷区建筑物内（按照 IEC 1312-3 的要求，一般用在 LPZ1 区和 LPZ2 区至 n 区）的 SPD，可疏导 $8 / 20 \mu s$ 的模拟雷电冲击电流。限压型 SPD 一般由氧化锌压敏电阻 (MOV) 或半导体放电管 (SAD) 等元器件组成。
- ◆ 混合型 SPD
- ◆ 一般由 MOV 与滤波器、半导体放电管 (SAD) 与 MOV 等电路组成。

几种SPD元器件原理和对比



	通流能力	续流	限制电压	反应速度	电容量
空气间隙	很大	有	高	慢	很小
石墨间隙	很大	无	较高	较慢	很小
GASTUBE	很大	有	高	慢	很小
MOV	大	无	较低	较快	大
TVS	小	无	低	快	小
SIDACTor	小	无	很低	很快	小

国标讨论稿

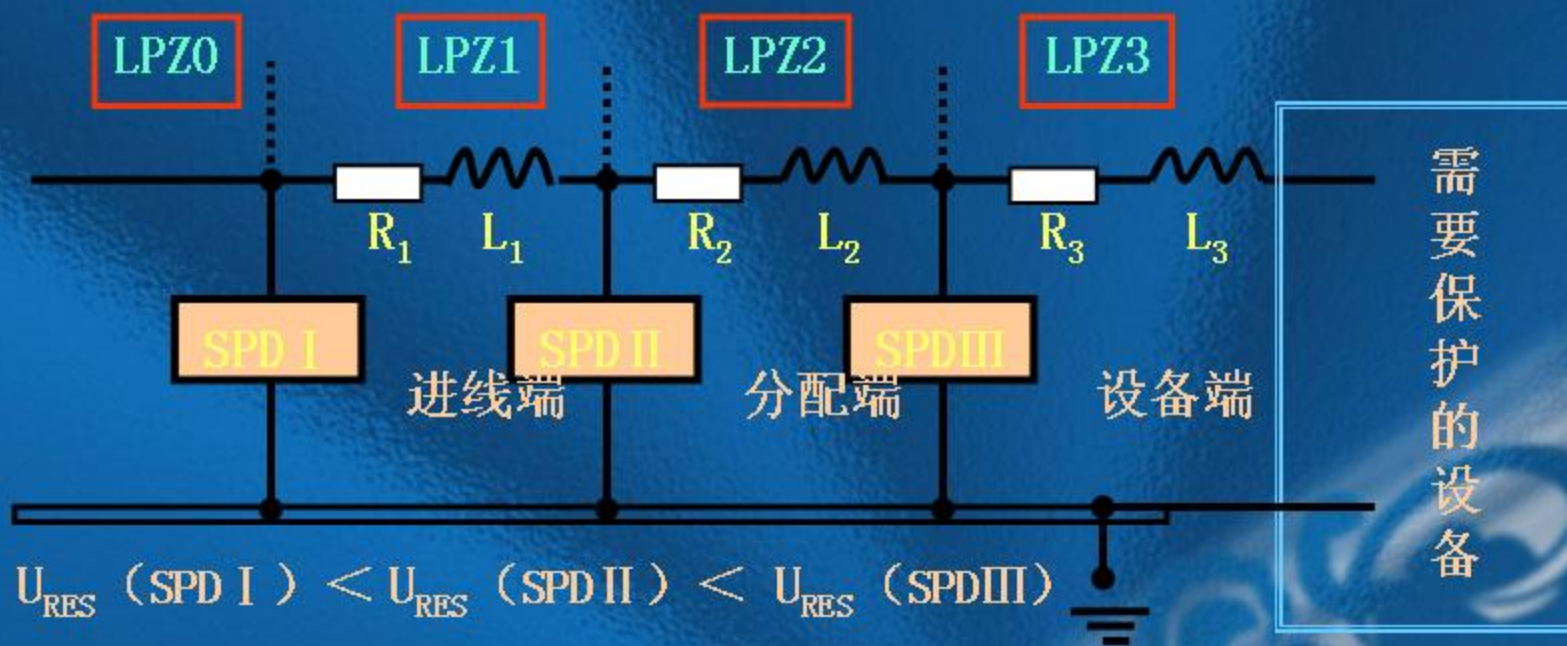
条件	B	C	D
I 类防雷建筑	12.5kA 10/350uS	最大20kA 8/20uS	最大10kA 混合波
II 类防雷建筑	12.5kA 10/350uS	最大20kA 8/20uS	最大10kA 混合波
III类防雷建筑	10kA 10/350uS	最大20kA 8/20uS	最大10kA 混合波

第四部分

雷电的分级泻放

电源多级保护

- ◆ 第一级 进线端
- ◆ 第二级 分配端
- ◆ 第三级 设备端



级间距离和退耦器

使用谐振电感代替其它必要的级间电缆长度

在电涌保护器间去耦

— 电感： $8-24\mu\text{H}$

开关型 \rightarrow 限压型

10M ————— $20\sim 24\mu\text{H}$

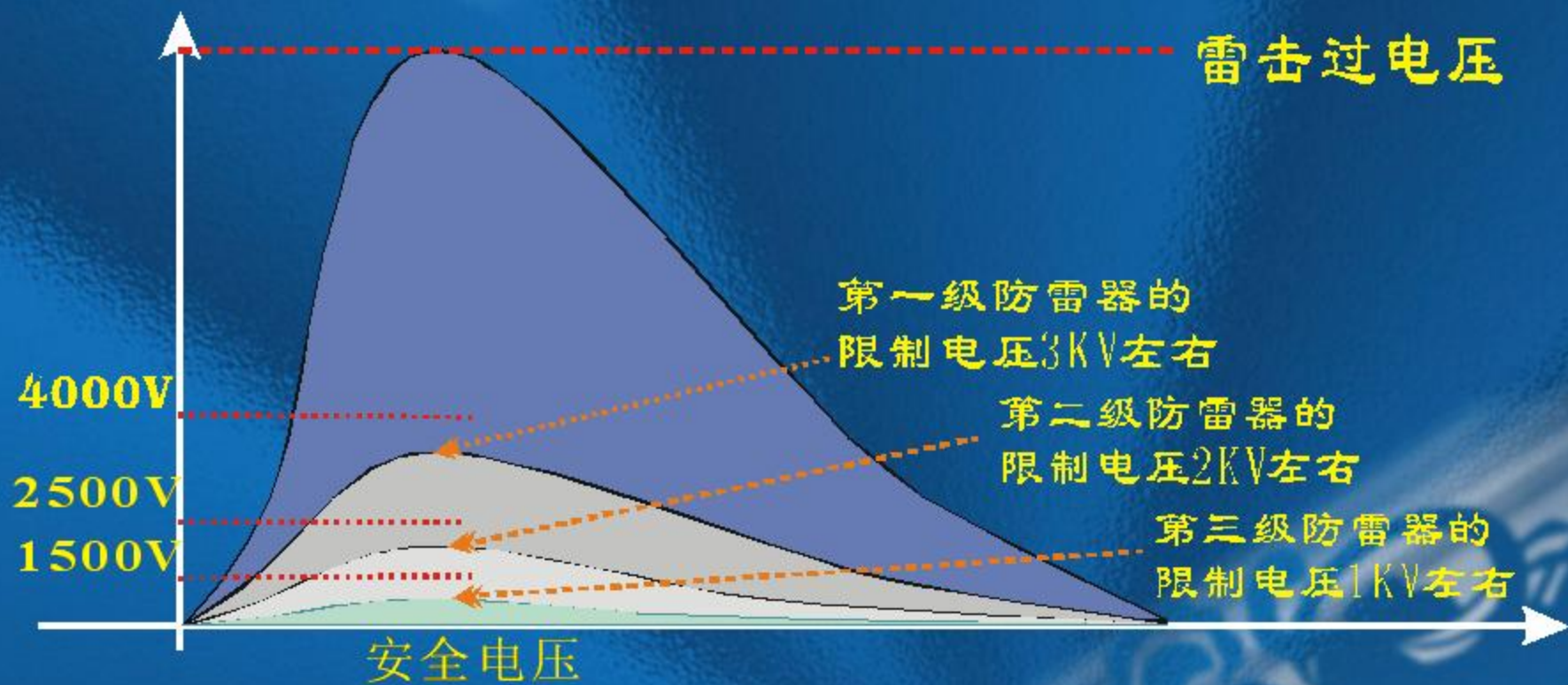
限压型 \rightarrow 限压型

5M ————— $8\sim 10\mu\text{H}$



分级泄放

◆ 设备的耐压和分级泄放



直击雷电流的分配

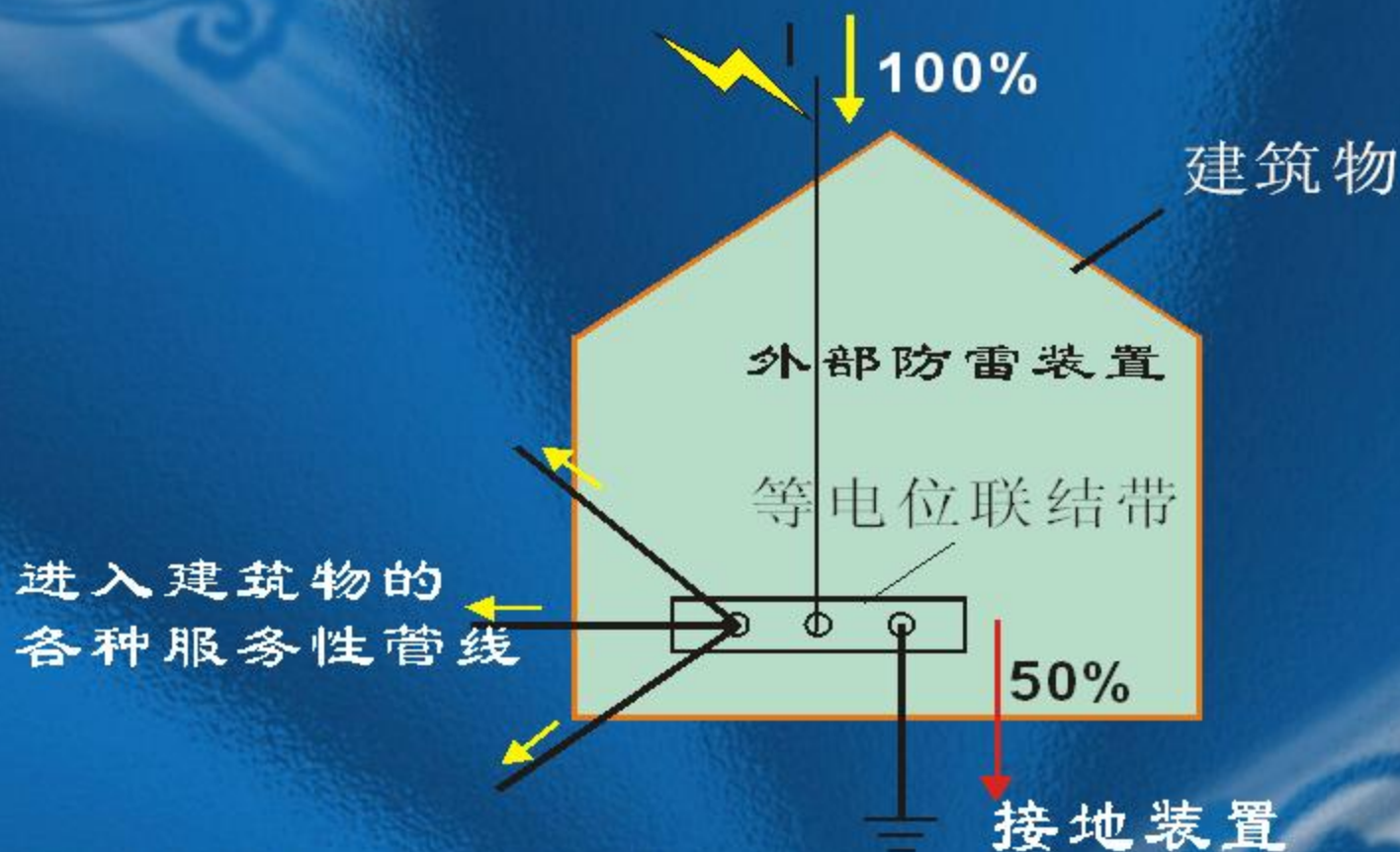
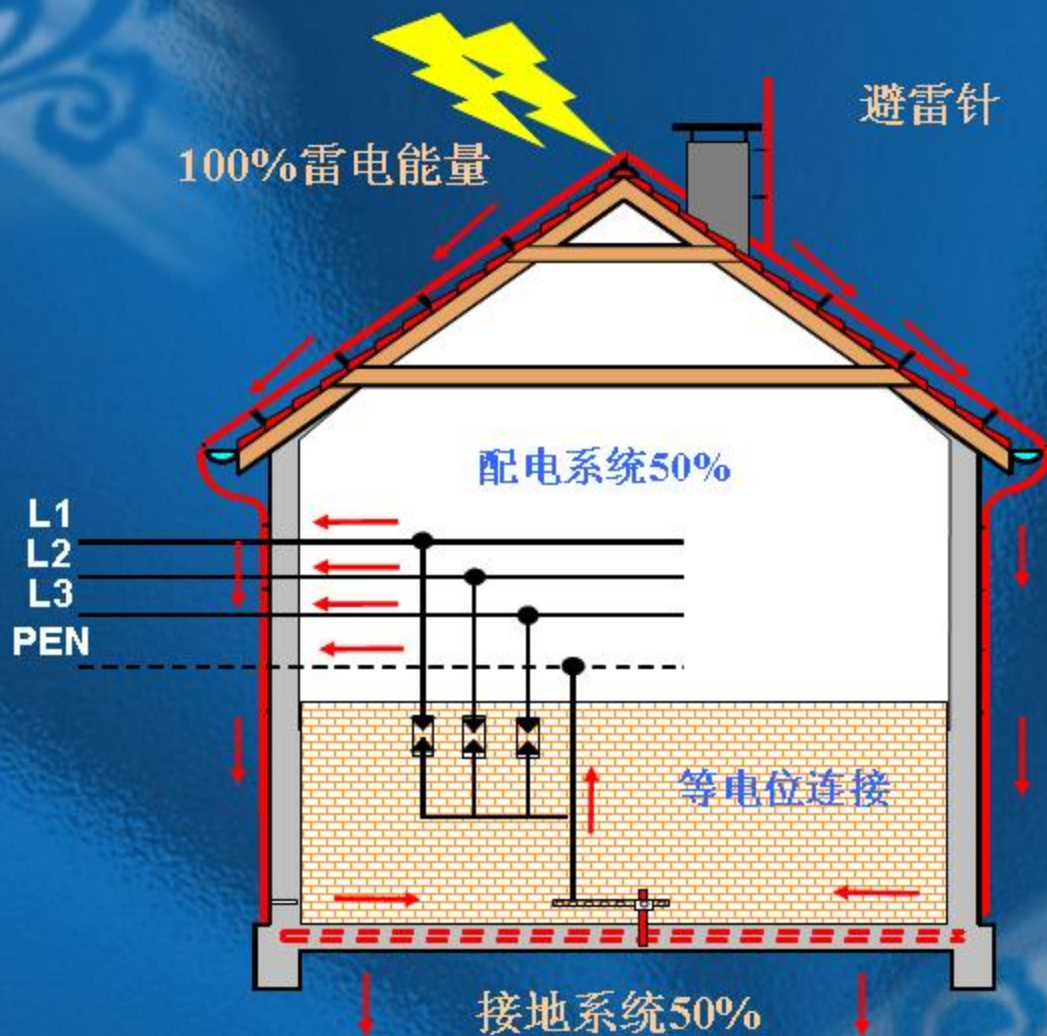
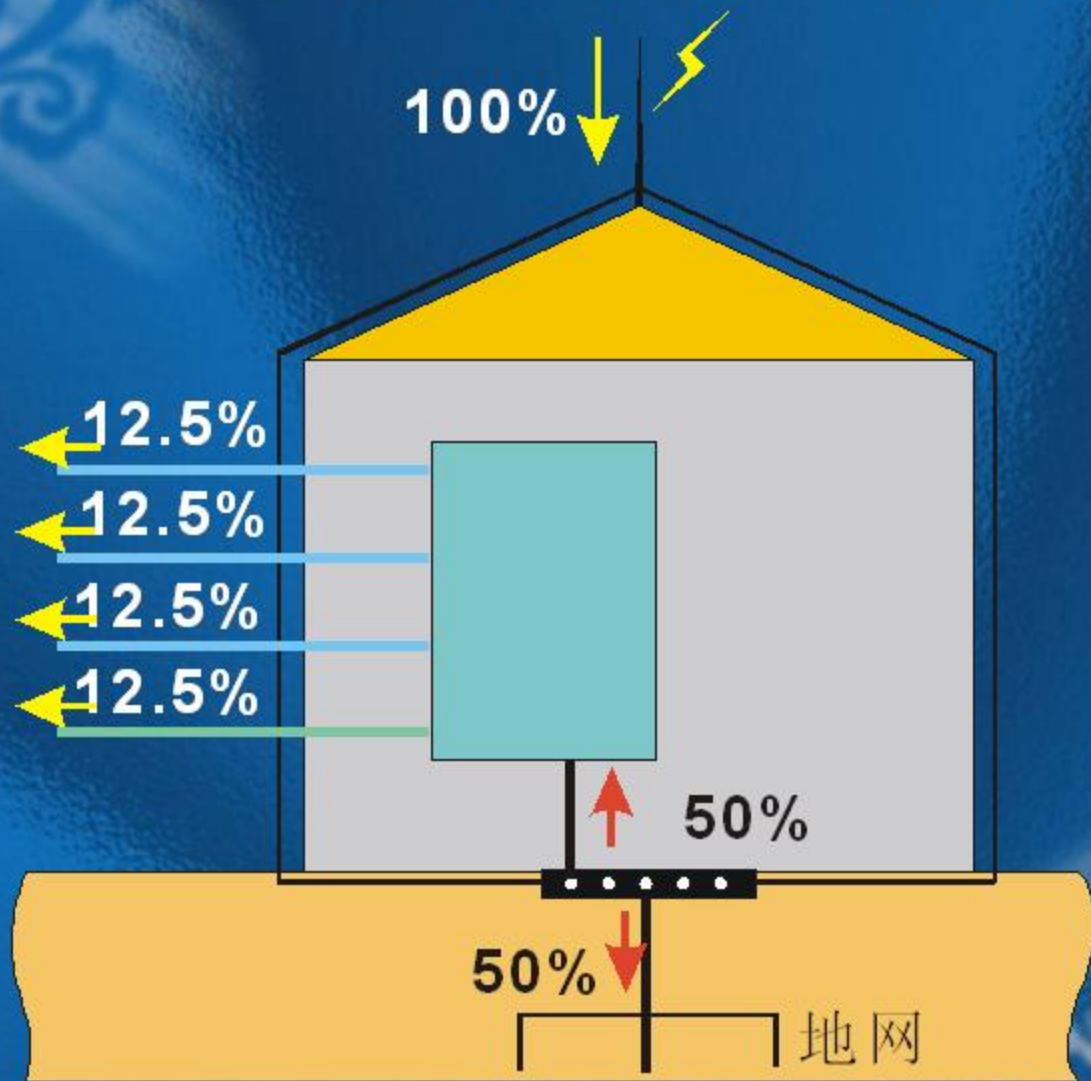


图6.3.4-1 进入建筑物的各种设施之间的雷电流分配

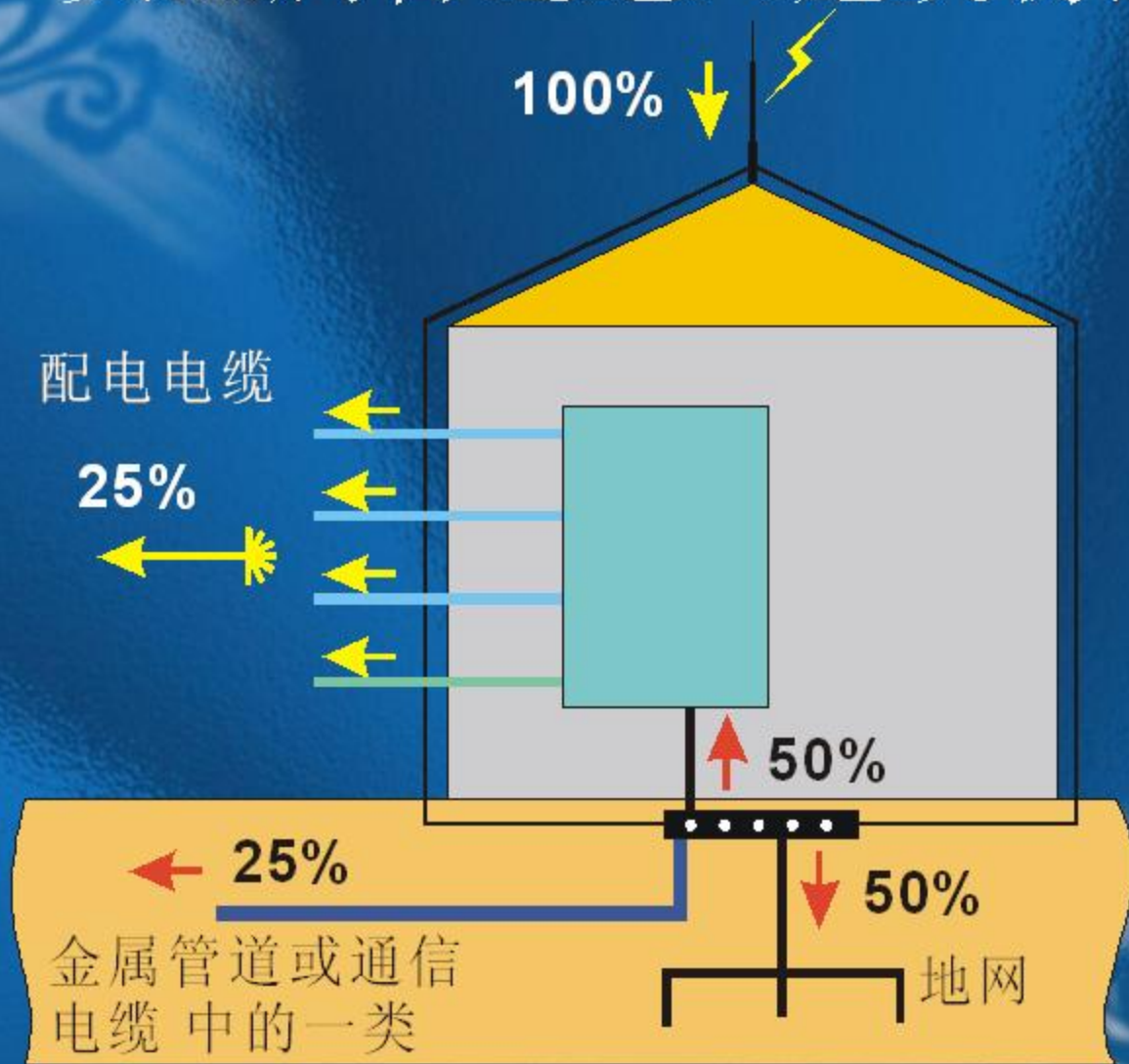
第五部分 雷电分流



只有低压配电线路进入的建筑



除低压配电电缆以外有另外一类金属管道进入建筑物的情况



GB50057 《建筑物防雷设计规范》

- ◆ **第6.4.7条**：在 LPZ0A 或 LPZ0B 区与 LPZ1 区交界处安装的 SPD，应选用符合 I 级分类试验，按标准第6.3.4条的规定通过 $10/350\mu\text{s}$ 雷电流幅值的产品。按上述要求选用配电线路上的 SPD 时，其标称放电电流 I_n 不宜小于 **15kA**。

IEC（国际大电工委员会）

60364-5-534

- ◆ 建筑物入户处的第一级SPD的保护水平 U_p 应该小于2.5kV，不管哪种保护模式，雷击冲击电流 I_{imp} （10/350 μ s）应该大于12.5kA。

对地法和 N-PE法

